

GERAÇÃO DE PADRÕES DE FIOS INJETADOS NUMA CAVIDADE BIDIMENSIONAL

Cícera Carla de Souza Pereira (bolsista-UFPI), Marcelo Andrade de Filgueiras Gomes (Colaborador, UFPE-PE), Valdemiro da Paz Brito (Orientador, Depto. de Física – UFPI)

Introdução

O estudo de sistemas amassados foi aprofundado, com especial ênfase, em estruturas bidimensionais [1,2], sendo que um último estudo foi feito com pinos fixos, onde o limite de bloqueio deste processo não térmico foi investigado em função do número de pinos para diferentes tipos de distribuições e simetrias da cavidade [3]. Esses estudos experimentais deram origem a novos padrões de estruturas complexas caracterizadas por propriedades físicas anômalas e leis de escala robusta [4,5]. Alguns autores têm examinado para este tipo de empacotamento um modelo para a embalagem de DNA em capsídios virais [6,7] entre outras analogias, como já citadas.

Investiga-se nesse trabalho, além do comportamento do empacotamento de múltiplos fios flexíveis confinados em cavidade 2D (quadrada e circular) no âmbito das analogias precedentes a este estudo, a dimensão fractal D dos respectivos empacotamentos com o uso do programa FRACLAC.

Metodologia

A célula utilizada para a realização dos experimentos, consiste de duas lâminas de vidro de 25,0cm x 25,0cm com espessura de 8,0mm cada superpostas, separadas por lâminas de acrílico com espessura média de 1,6mm, onde foram modeladas as cavidades, quadrada com área de 100cm², e circular com 314cm² de área.

Os fios injetados possuem 1,5mm de diâmetro. Inicialmente, os fios foram dispostos em paralelo entre si na cavidade de maneira que a metade das suas medidas totais, estimada em 13,0m, para cada fio, e o centro geométrico da cavidade coincidisse, não foi utilizado nenhum tipo de lubrificante no processo de injeção dos fios. O fio flexível utilizado é composto por um núcleo de fios de cobre (diâmetro 0,75mm) e uma cobertura externa de plástico (espessura 0,37mm), totalizando $\zeta = 1,50$ milímetro de diâmetro.

A injeção dos fios foi feita pelas duas janelas da cavidade, de modo que os fios entrassem, a princípio juntos, e à medida que a taxa de empacotamento possível era alcançada individualmente por alguns fios, outros continuavam a ser empacotados até seu limite máximo. O empacotamento foi contínuo e posteriormente o arranjo foi fotografado com uma câmera digital SONY (resolução de 14.1 Mega pixels).

As fotografias dos arranjos circulares foram utilizadas para a realização da medida da dimensão fractal dos mesmos. Utilizou-se o método de medida fractal box counting, com o uso do programa FRACLAC. É necessário a binarização das imagens para a leitura no programa, onde o fio está em preto e o fundo está em branco.

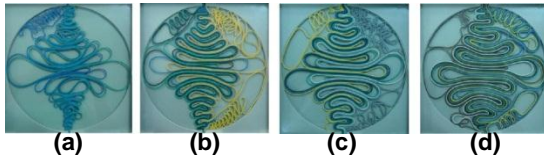
Nesse trabalho foi realizado o cálculo da média da taxa de empacotamento das cavidades circular e quadrada, além da realização da medida da dimensão fractal da cavidade circular. Os arranjos obtidos com o empacotamento de múltiplos fios foram binarizados e analisados pelo programa FRACLAC no intuito de encontrar uma média da dimensão fractal, mostrada na Figura 4.

Resultados e Discussão

Além das estruturas 2D assumirem em geral um estado amassado não muito diferente de outros empacotamentos bidimensionais encontrados na literatura, com suas alças, contatos fio-fio e trajetos semelhantes ao movimento de um verme [7], os fios localizados no centro da cavidade entre os fios das extremidades nos casos dos empacotamentos com 4, 6 e 8 fios, (em ambas as células, circular e quadrada) apresentaram possuir menor grau de liberdade, estes dependem dos fios externos para poderem se deslocar no empacotamento, justamente por esse motivo, travam mais rapidamente, possuindo, quando analisados individualmente, menor taxa de empacotamento, como mostra a Figura 1. As taxas de empacotamento para as cavidades quadrada e circular, respectivamente, foram de, para $N = 2$; $p(N) = 0,22 \pm 0,04$ e

$0,27 \pm 0,02$; $N = 4$; $p(N) = 0,34 \pm 0,03$ e $0,42 \pm 0,02$; $N = 6$; $p(N) = 0,42 \pm 0,03$ e $0,51 \pm 0,01$; $N = 8$; $p(N) = 0,49 \pm 0,03$ e $0,59 \pm 0,02$, estas representadas pela Figura 2.

- **Célula circular**



- **Célula quadrada**

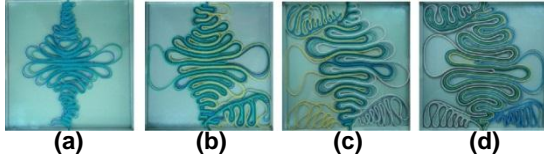


Figura 1: Padrões de fios empacotados obtidos na célula circular: com (a) 2 fios, (b) 4 fios, (c) 6 fios e (d) 8 fios. Padrões de fios empacotados obtidos na célula quadrada: (e) 2 fios, (f) 4 fios, (g) 6 fios e (h) 8 fios.

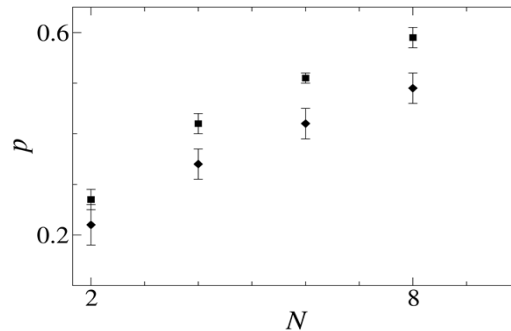


Figura 2: Gráfico linear-linear de $p \times N$ para fios composto (cobre + plástico) empacotados em cavidades quadrada e circular. Sendo N o número de fios injetados (2, 4, 6 e 8) ao mesmo tempo na cavidade, e p a taxa de empacotamento. Pontos referentes à célula circular (■) e pontos referentes à célula quadrada (◆).

Após o empacotamento, foi realizada a binarização das fotografias registradas de cada experimento, como mostram as Figuras 3(a), 3(b), 3(c), 3(d), e lançados no programa FRACLAC.

- **Arranjos circulares binarizados**

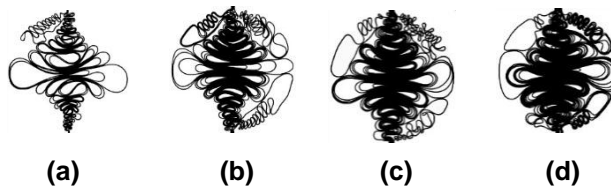


Figura 3: Padrões de fios empacotados e binarizados obtidos da célula circular: com (a) 2 fios, (b) 4 fios, (c) 6 fios e (d) 8 fios.

Os dados obtidos da análise pelo método box counting no programa FRACLAC, são exibidos na Figura 4. Respetivamente as dimensões para os grupos com 2, 4, 6 e 8 fios empacotados, são $D=1,65$, $D=1,71$, $D=1,72$, $D=1,67$. É possível notar que todas as dimensões obtidas nos empacotamentos de múltiplos fios estão dentro do que foi encontrado e estimado nos empacotamentos de um único fio, que é de aproximadamente $D=1,1$ a $1,7$.

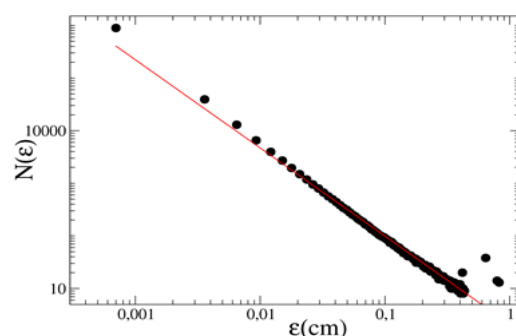


Figura 4: Gráfico log-log de $N(\epsilon)$ X ϵ , onde N é o número de caixas de lado ϵ . A dimensão fractal $D = 1,69 \pm 0,04$ é a média calculada para os grupos estudados do empacotamento de múltiplos fios (2, 4, 6 e 8 fios) na célula circular.

Conclusão

Verificamos que, assim como no caso do empacotamento de apenas um fio em cavidades bidimensionais, a topologia da cavidade não influenciará no empacotamento dos fios, porém a quantidade de fios presente no empacotamento estudado neste trabalho servirá como obstáculos, já que há um aumento de contatos fio-fio, tornando o movimento do fio mais difícil, visto que o mesmo possui menor grau de liberdade.

Ainda nesse trabalho foi realizada a medida da dimensão fractal destes elementos, medida esta já realizada em outros trabalhos análogos.

É possível utilizar a média dessas dimensões fractais ($D = 1,69 \pm 0,04$) e notar que não há dependência com o número de fios a ser empacotados, ou seja, o número de fios não vai alterar a dimensão fractal do experimento em questão, apenas sua taxa de empacotamento, como mostra a Figura 2.

Ainda é esperado o cálculo da dimensão fractal para as imagens do empacotamento de múltiplos fios em cavidade quadrada, a partir das imagens já capturadas.

Referências

- [1] M. A. F. Gomes, Am. J. Phys. **55**, 649 (1987).
- [2] W. Bai, W.-C. Lin-Kun, T. and T.-M. Hong, Phys. Rev. E **82**, 066112 (2010).
- [3] M. A. F. Gomes, V. P. Brito, A. S. O. Coelho, and C. C. Donato, J. Phys. D: Appl. Phys. **41**, 235408 (2008).
- [4] C. C. Donato, M. A. F. Gomes, and E. R. Souza, de Phys. Rev. E **66**, 015102 (R) (2002).
- [5] Y. C. Lin, P. S. Lin and T. M. Hong, Phys. Rev. E **78**, 067101 (2008).
- [6] C. C. Donato, M. A. F. Gomes and R. E. Souza; Phys. Re. E (R) **66**, 15102 (2002).
- [7] M. A. F. Gomes, V. P. Brito, M. S. Araújo and C.C. Donato; Phys. Ver. E 81031127 (2010).

Palavras-chave: empacotamento.bidimensional.fios